

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON.

Année scolaire 1922-1923. — N° 13

L'OREILLE CHEZ L'AVIATEUR

*(Audition - Perméabilité tubaire
et Equilibration)*

Influence du Vol — Epreuves et examens
otologiques d'aptitude au pilotage.

THÈSE

PRÉSENTÉE

à la FACULTÉ DE MÉDECINE et de PHARMACIE de LYON

et soutenue publiquement le 27 Novembre 1922

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Henri VOISIN

né à TOURS (Indre-et-Loire), le 4 Décembre 1896.

Ex-Lieutenant pilote aviateur aux escadrilles V. B 113 et V B 125.



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

45, Quai Gailleton, 45

Téléphone 03-56

1922

L'OREILLE CHEZ L'AVIATEUR

(Audition-Perméabilité tubaire et équilibration)

Influences du vol. Epreuves et examens

otologiques d'aptitude au pilotage.

L'OREILLE CHEZ L'AVIATEUR

*(Audition - Perméabilité tubaire
et Equilibration)*

Influences du Vol — Epreuves et examens
otologiques d'aptitude au pilotage.

THÈSE

PRÉSENTÉE

à la FACULTÉ DE MÉDECINE et de PHARMACIE de LYON

et soutenue publiquement le 27 Novembre 1922

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Henri VOISIN

né à TOURS (Indre-et-Loire), le 4 Décembre 1896.

Ex-Lieutenant pilote aviateur aux escadrilles V. B 113 et V B 125.



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU
45, Quai Gailleton, 45
Téléphone 63-56

1922

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire
 Doyen
 Assesseur

M. HUGOUNENQ.
 MM. J. LEPINE.
 ROQUE.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, BEAUVISAGE, LACASSAGNE, TESTUT,
 A. FLORENCE

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. TESSIER
Cliniques chirurgicales	ROQUE
Clinique obstétricale et Accouchements	BARD
Clinique ophtalmologique	TEXIER
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	BERARD
Clinique neurologique et psychiatrique	COMMANDEUR.
Clinique des maladies des enfants	ROLLET
Clinique des maladies des femmes	NICOLAS
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	LEPINE (J.)
Clinique des maladies des voies urinaires	WEILL
Clinique chirurgicale, infantile et orthopédie	POLOSSON (A.)
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie	LANNOIS
Chimie biologique et médicale	ROCHET
Chimie organique et Toxicologie.	N.-JOSSEAND
Matière médicale et Botanique	CLUZET
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.	HUGOUNENQ
Anatomie	MOREL
Histologie	X
Physiologie.	GUIART
Pathologie interne	LATARJET
Pathologie et Thérapeutiques générales	POLICARD
Anatomie pathologique	DOYON
Chirurgie opératoire	COLLET
Médecine expérimentale et comparée et bactériologie	MOURIQUAND
Médecine légale	PIVOT
Hygiène.	VILLARD
Thérapeutique.	ARLOING (F.)
Pharmacologie	Etienné MARTIN
	COURMONT (P.)
	PIC
	MOREAU

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe.....	VALLAS.
— Propédeutique de gynécologie.....	CONDAMIN.
— Chimie minérale	BARRAL.
— Urologie	GAYET.

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Anatomie topographique	PATEL
Botanique.	BRETIN
Embryologie	GRAVIER.
Orthopédie	LAROYENNE.
Puériculture et hygiène de la première enfance.....	CHATIN.
Stomatologie.	TELLIER

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
NOGIER	SAVY	HOVELACQUE	ROUBIER
BRETIN	FROMENT	TRILLAT	FAVRE
LERICHE	THEVENOT (L.)	SAKVONAT	BONNET
THEVENOT (Léon)	PIERY	FLORENCE	NOËL chargé
TAVERNIER	COTTE	ROCHAIX	des fonctions
CADE	DUROUX	CORDIER	
GARIN			

M. BAYLE, secrétaire

EXAMINATEURS DE LA THESE

M. LANNOIS, *Président* ; M. FROMENT, *Assesseur* ;

MM. CORDIER et FAVRE, *Agrégés*

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A LA MEMOIRE DE

MON FRÈRE, L'ASPIRANT MAURICE VOISIN

MON BEAU-FRÈRE, LE SOUS-LIEUTENANT

PIERRE CHALLAMEL

MON AMI, L'ASPIRANT ROGER LANÇON

TOUS MES CAMARADES, FANTASSINS ET AVIATEURS,

TOMBÉS AU CHAMP D'HONNEUR

A MA FEMME

A MES ENFANTS

A MA GRAND'MÈRE

A MON PÈRE — A MA MÈRE

A MES SŒURS

A MA BELLE-MÈRE

A TOUS MES PARENTS

A MES AMIS MAURICE ROBIN et MARCEL OGER

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE,
MONSIEUR LE PROFESSEUR LANNOIS
Officier de la Légion d'honneur

A MES JUGES

A MONSIEUR LE DOCTEUR REVERCHON
Professeur Agrégé au Val-de-Grâce

Qui nous a toujours témoigné la
plus grande bienveillance et nous
a initié aux examens médico-aé-
ronautiques de 1920 à 1922.

L'OREILLE CHEZ L'AVIATEUR

(Audition-Perméabilité tubaire et équilibration)

Influences du vol. Epreuves et examens

otologiques d'aptitude au pilotage.

INTRODUCTION

Les premiers vols en avion furent effectués par des jeunes gens audacieux et résolus qui, pour la réalisation de ce problème si captivant qu'était la conquête de l'air, et pour la connaissance des impressions passionnantes du vol humain, faisaient constamment le sacrifice de leur vie. Les altitudes étaient généralement inférieures à 300 mètres et les envolées duraient peu. Il leur suffisait d'avoir du sang-froid, du calme et cet état éveillé des sens extérieurs qu'avait développé chez eux la pratique des sports.

Puis, les appareils se perfectionnant et l'habileté des pilotes augmentant, les vols devinrent plus longs et s'effectuèrent à une altitude plus élevée. Des meetings, des courses et des circuits s'organisèrent qui attirèrent, avec l'intérêt de la foule, de nombreux jeunes gens à l'apprentissage du pilotage.

La guerre de 1914-1918 éclata et il fallut, pour pouvoir remplir le programme jugé nécessaire par les autorités militaires, faire appel aux volontaires et les accepter presque tous sans contrôle. Et aussitôt, dans les écoles, de nombreux accidents se produisirent que ne pouvaient expliquer uniquement les défauts d'appareils fabriqués hâtivement ou de « rossignols » sortis des hangars, puisqu'il fallait faire flèche de tout bois. Il suffit en effet que la réponse musculaire à une excitation venue du monde extérieur soit incorrecte ou simplement trop lente pour que l'accident se produise.

L'attrait de l'uniforme, l'indemnité de vol, la perspective de quelques mois passés à l'arrière dans les écoles, l'espérance de la gloire provoquèrent des demandes plus nombreuses d'admission dans le personnel navigant (1). On put se montrer plus rigoureux dans le choix des pilotes et appliquer ce sélectionnement que quelques-uns déjà jugeaient nécessaire. C'est, en effet, de cette époque que datent les premières recherches médicales sérieuses sur ce que l'on devait exiger du pilote pour éviter ces accidents qui, trop souvent encore, faisaient de si grands vides dans le personnel navigant de l'aviation.

Déjà, en 1911, René Cruchet et Moulinier avaient étudié ce qu'ils appelèrent le « mal des aviateurs » ; De Griffigny, en 1912, faisait ressortir la nécessité d'une sélection médicale dans le choix des candidats

(1) Nombre de pilotes brevetés (Aéro-Club militaire) :
au 1^{er} Juillet 1914 : 1718
au 1^{er} Juillet 1920 : 18.314.

pilotes. Ce sont ensuite les circulaires ministérielles du 2 septembre 1912, du 23 septembre 1912, du 23 janvier 1914, du 8 octobre 1915; les observations personnelles du docteur aviateur Ferry et la circulaire ministérielle du 31 mars 1916. Celle-ci demandait déjà :

a) Une acuité visuelle normale des deux yeux et de chaque œil sans verres correcteurs;

b) Un champ binoculaire normal;

c) Un sens normal des couleurs;

d) Une intégrité de l'oreille moyenne et interne (et en particulier de l'appareil d'équilibration);

e) Un poids minimum de 85 kilos.

Petit à petit s'organisa un véritable examen d'aptitude physique au pilotage qui fut le résultat des études de Ferry, Cruchet, Guillaïn, Camus, Nepper, P. Broca, Maublanc et Ratié. Des épreuves étaient destinées à s'assurer de l'intégrité du système nerveux des aviateurs; un examen médical général s'efforçait de garantir la persistance de cette intégrité, malgré les dures conditions imposées par le vol.

Actuellement, le résultat de cet examen est consigné sur cinq fiches :

1° Fiche-examen de médecine générale;

2° — radiologique;

3° — neurologique;

4° — oto-rhino-laryngologique;

5° — ophtalmologique.

Au bas de chaque fiche se trouvent les conclusions et la mention d'aptitude. Les résultats sont consignés

sur le « livret médical d'archives » et sur un « carnet médical individuel ».

Dix centres militaires fonctionnent aujourd'hui : Paris, Lyon, Strasbourg, Metz, Nancy, Dijon. Tours, Marseille, Bordeaux et Alger. Y sont examinés :

- a) *Les jeunes gens demandant à bénéficier des bourses de pilotage créées par l'Etat;*
- b) *Les pilotes de réserve désirant contracter un rengagement dans le personnel navigant;*
- c) *Les militaires voulant accomplir leur service dans l'aviation.*

L'organisation de ces centres et les règles des examens ont été précisées dans les circulaires ministérielles du 16 janvier, 27 mars et du 12 juin 1922.

Les compagnies de transports aériens font examiner leurs candidats-pilotes avant de les accepter; de plus, les aviateurs en service sont tenus de subir tous les six mois un contrôle médical d'aptitude, ainsi qu'à la fin de toute maladie ou accident grave. Il est à souhaiter que ces examens périodiques, ou occasionnels, soient également appliqués au personnel navigant de l'aviation militaire.

*
* *

Le service médical est maintenant très bien organisé. Il avait déjà eu pour effet de ne plus accepter comme pilotes, à la fin de la guerre, des sujets déclarés inaptes à leur arme d'origine pour séquelles de maladies ou de blessures de guerre, sujets qui en 1916 encore, étaient pris presque automatiquement sur une simple demande. Mais les nécessités du moment et les

pertes élevées de l'aviation ne permettaient pas alors un recrutement d'élite.

Il a mis un terme, d'autre part, à cet embauchage forcené de la part d'un certain nombre de compagnies qui prenaient au plus bas prix des pilotes ne remplissant pas les conditions essentielles de sécurité.

A partir du 1^{er} janvier 1923 fonctionnera un service médical d'examens et d'études pour l'Aéronautique civile et les transports aériens. Un décret publié au Journal Officiel du 1^{er} septembre 1922 stipule que ce Service sera chargé d'examiner le personnel navigant (élèves-pilotes, navigateurs et mécaniciens d'aéronefs affectés aux compagnies civiles), d'étudier expérimentalement toutes les questions touchant à l'influence du vol sur l'organisme et d'en déterminer les conséquences, les lois et les répercussions. Il comprendra :

a) Un Centre principal d'examen et d'études dont le fonctionnement sera assuré par :

Un médecin, chef de centre principal;

Quatre médecins spécialistes;

Un opérateur radiographe;

b) Deux centres régionaux d'examen dont l'effectif est ainsi fixé :

Un médecin-chef de centre régional;

Trois médecins spécialistes.

*
* * *

Nous ne nous proposons d'étudier dans ce modeste travail que les épreuves à effectuer pour s'assurer de l'intégrité de l'oreille auditive et surtout du bon fonctionnement du sens de l'équilibration. Après avoir dé-

crit les troubles ressentis par l'aviateur dans le vol normal, le vol acrobatique ou lorsque certaines conditions particulières se trouvent réalisées, nous pensons que la nécessité d'un bon fonctionnement de l'appareil d'équilibration, de la trompe d'Eustache et de l'oreille auditive paraîtra évidente. Nous décrirons alors les épreuves employées dans ce but et chercherons à établir un type d'examen simple et rapide suffisant à nous dicter une décision autorisée sur l'aptitude ou l'inaptitude du candidat examiné.

CHAPITRE PREMIER

Troubles ressentis par les Aviateurs.

§ I. — *Malaises produits par la montée calme.*

Mal des aviateurs

Les impressions que fait naître le vol en avion ont été maintes fois décrites. Si le temps est calme... et le pilote aussi, le baptisé de l'air sera enchanté de sa promenade. Dans le « Journal des Praticiens », le docteur Balencie relate ainsi un voyage en avion :

« — A peine envolé, un sentiment de sécurité déconcertante vous empoigne. Une sensation de légèreté indicible vous envahit, la morphine seule donne la semblable; et, noyé dans l'air, il vous semble graviter lentement dans l'espace, sans heurts, sans secousses. Vous regardez fuir la terre sous vos pieds avec ses champs, ses bois et ses prairies dans une quiétude parfaite. Tout se rapetisse, seul, moi je demeure moi-même avec mes dimensions, plus grand que tout ce que je domine. »

Tout cela est très juste, est très bien analysé, mais le pilote n'est généralement pas si optimiste. Il sait

que son existence dépend d'une fausse manœuvre et, sans se laisser envahir par cette hantise constante, il sourit au passager qui lui dit :

« — Alors, ce n'est que cela ! »

Ce n'est que cela, en effet, tant que l'air est calme, que tout va bien à bord, en vol tranquille, effectué à basse altitude. A partir d'une certaine hauteur, apparaissent des symptômes groupés par Cruchet et Moulinier, sous le nom de « mal des aviateurs ». En vol acrobatique, ou, plus simplement, dans les remous et trous d'air, c'est quelque chose de moins agréable que nous étudierons plus loin. Pour le moment, voyons seulement ce qui se passe dans la montée calme.

Les interrogatoires de pilotes ne peuvent nous fournir des renseignements valables, qu'en les rapprochant les uns des autres. Certains mettent leur amour-propre à nier tout malaise, beaucoup avouent y avoir été sujet à des périodes variables de leur entraînement, presque tous les jeunes sont trop absorbés par la surveillance de leur appareil pour analyser leurs sensations. Le récit des premiers aviateurs surtout doit être sujet à caution. L'imagination, l'exagération, l'invention parfois, destinées à attirer l'attention ou l'ébahissement des « rampants » rendaient souvent curieux les interviews de ces précurseurs. Wynmalen, à 2.800 mètres, disait sentir couler le sang de ses ongles dans ses gants fourrés et des perles rouges venir mouiller ses lèvres,

Maintenant que le vol en avion est devenu chose banale, que le pilotage ne nécessite plus chez un pilote entraîné une attention bien soutenue, les aviateurs

sont bien plus à même de pouvoir relater exactement les malaises qu'ils ressentent. Leurs récits sont d'ailleurs presque tous concordants sur la généralité des symptômes éprouvés.

Les premiers troubles apparaissent à une altitude très variable, dépendant de plusieurs facteurs.

A. Facteurs tenant à l'appareil, ou au vol :

Les troubles sont plus précoces ;

a) Dans les appareils à moteur avant ;

b) Par température froide (hiver, nuit) ;

c) Dans les avions où, mal protégé, on est plus « soufflé » ;

d) Si la montée a été rapide. Nous avons noté a conditions atmosphériques équivalentes, 1.800 mètres en Salmson ; 3.000 mètres en Voisin à montée deux fois plus lente.

B. Facteurs tenant à l'état du sujet :

a) En règle générale, le pilote est plus sensible à cause de la tension nerveuse et de la fatigue dues à la conduite de l'avion ;

b) Il y a des prédispositions par tempérament ou défaut d'hygiène générale. Tous les jours, on voit des pilotes faire des acrobaties de toutes sortes sans éprouver aucun malaise, alors que d'autres, non surmenés, sont incommodés dans des vols très calmes et très prudents ;

c) L'âge, les auto-intoxications favorisent l'évolution scléreuse des artères ; la régularisation vaso-motrice si importante chez l'aviateur se fera moins bien ;

d) La question d'ancienneté dans le pilotage permet de classer les pilotes en deux catégories :

1. Les jeunes s'accoutument progressivement (écoles, épreuves de brevet, vols de durée croissante) et arrivent à supporter rapidement de hautes altitudes;

2. Les anciens, pendant un certain temps, ont une impression agréable, mais leur puissance de travail, leur résistance à la durée et à la hauteur finissent par baisser. Le vol leur devient de plus en plus pénible, surtout si l'altitude dépasse 2.000 à 3.000 mètres.

Le sergent G..., excellent pilote volant depuis six ans (1.200 heures de vol), ne pouvait plus dépasser 1.300 mètres sans perdre confiance en lui-même. Combien d'aviateurs, pendant la guerre, surmenés ou surentraînés, se disaient « dégonflés ». Sans doute, beaucoup d'entre eux, après une période de repos et de calme, retrouvaient toutes leurs aptitudes et leur assurance, mais un bon nombre devaient être envoyés comme moniteurs dans les écoles pour n'effectuer que de courts vols à faible altitude qu'ils supportaient d'ailleurs aisément.

e) Le mal des aviateurs apparaît plus facilement chez les pilotes surentraînés. Garsaux propose que les compagnies aériennes ne demandent à leur personnel que 50 heures de vol par mois. Ce chiffre nous paraît devoir être abaissé pour les pilotes de nuit et pendant l'hiver. Il y aurait lieu, d'autre part, d'accorder un repos minimum de 15 jours tous les six mois aux pilotes effectuant des services publics réguliers. On arriverait ainsi non seulement à empêcher l'apparition

de troubles chez les aviateurs surmenés, mais encore à prolonger la durée actuelle du métier de pilote, estimée au maximum à 6.000 heures de vol pour un organisme très robuste. Pendant la guerre, beaucoup d'accidents survenus en escadrille se sont produits parce qu'il n'y avait pas de service réglementé et que l'exercice du pilotage se faisait par à-coups.

f) L'apparition des manifestations du « mal des aviateurs » est également influencée par le facteur émotivité, dont Perrin de Brichambault a bien fait ressortir l'importance. Des défaillances nerveuses momentanées alors que, par ailleurs, l'organisme reste en état parfait d'intégrité, occasionnent à l'aviateur des malaises qu'il s'étonne de ressentir dans des situations où maintes fois il s'était trouvé placé impunément.

Au retour des permissions de détente, le pilote de guerre était mécontent de sa façon de conduire. Sans doute, faut-il tenir compte de ce que, distrait du pilotage pendant quelques semaines, il avait « perdu la main ». Mais n'y a-t-il pas aussi en cause cette anxiété bien compréhensible ressentie par tout combattant qui, venant de reprendre goût à la vie calme et sans danger de l'arrière, était angoissé à la perspective de l'inconnu qui l'attendait à nouveau.

En septembre 1918, immédiatement après la mort de notre frère qui venait d'être tué dans l'infanterie, mort qui nous avait profondément affecté, nous ressentîmes nettement ces manifestations inusitées alors que nous étions pourtant en bon état d'entraînement,

sans toutefois être surmené. Nous ne sentions plus notre appareil et tout remous nous angoissait. Souvent, nous coupions l'allumage alors que cette manœuvre n'était nullement indiquée ; et, dès 1.500 mètres dans nos vols de nuit, nous éprouvions une sensation de sécheresse à la gorge et congestion faciale que quelques jours auparavant nous n'avions pas eue à 4.000 mètres.

La première sensation désagréable est celle du froid. La température baisse, en effet, de un degré chaque fois que l'on s'élève de 110 mètres aux basses altitudes et de 200 mètres aux hautes altitudes. En moyenne, à 6.000 mètres, il fait 20 degrés au-dessous de zéro (jusqu'à — 40 en hiver) (1).

A partir de 1.500 mètres, en général, il est possible de percevoir une sensation de sécheresse de la bouche et la cavité nasale qui tient surtout à la ventilation. Il en résulte une angoisse pharyngée, une impression de plénitude auriculaire qui obligent le pilote à des déglutitions. Celles-ci sont sollicitées, d'autre part, par l'inégalité de pression existant déjà de part et d'autre du tympan.

Un peu plus haut apparaissent une impression de bouchon d'ouate dans le conduit auditif, des douleurs auriculaires et des bourdonnements d'oreilles. Ce sont eux surtout qui sont influencés par la position du moteur et sa variété (plus précoces avec les moteurs fixes qu'avec les rotatifs dont le ronflement musical est moins pénible). Des battements naissent par salves qui disparaissent par des déglutitions

(1) L'Escadre 14 dut effectuer pendant l'hiver 1917, un bombardement de nuit par — 18° au sol. A 2.000 mètres il faisait — 37° ; à 3.000 : — 44°.

répétées. Ils ne sont pas dûs au traumatisme acoustique causé par le moteur, puisqu'ils se produisent également à la descente, moteur arrêté, mais bien à la rapidité plus ou moins grande d'établissement de la compensation tympano-labyrinthique par les vaso-moteurs.

A la vaso-constriction périphérique primitive qu'avait occasionné le froid, succède une vaso-dilatation ayant un rôle important dans l'étiologie de la céphalée avec sensation de resserrement au niveau des tempes qui apparaît généralement vers 2.500 mètres. Cette céphalée n'est pas due au port du casque qui n'est pas lourd et la plupart du temps ne gêne pas (1). Elle est plus intense chez les sujets présentant une déviation de la cloison, une hypertrophie des amygdales et, en général, toute cause de gêne respiratoire.

L'inspiration devient plus courte et plus pénible ; l'expiration, au contraire, se faisant dans un air raréfié est facilitée. La respiration s'accélérera donc.

Le cœur précipite ses battements, d'autant plus que la montée est plus rapide. Le pilote se plaint d'étreinte précordiale.

Vers 3.000 mètres, nous avons presque toujours noté, dans nos vols de nuit surtout, une sensation de torpeur, une fatigue au moindre mouvement, rendant le pilotage très pénible.

Jamais nous n'avons ressenti en vol le besoin d'uriner que de nombreux camarades accusaient (sans d'ailleurs pouvoir le soulager le plus souvent), mais

(1) Nous volions généralement en passe-montagne et souffrions de maux de tête, tout comme nos camarades portant leur casque.

presque aussitôt après l'atterrissage cette sensation apparaissait, impérieuse.

A partir de 5.000 mètres, la tête semble gonfler comme si le casque devenait trop petit.

L'altitude maxima atteinte, et l'appareil mis en vol horizontal, la plupart des troubles s'atténuent, car l'organisme s'adapte rapidement aux conditions ambiantes nouvelles où il vient de se trouver placé. Mais, survienne un remous, un incident perturbateur quelconque, aussitôt ils réapparaissent, très passagèrement il est vrai. Jamais, dans le vol horizontal, nous n'avons éprouvé de vertiges sinon lorsque certaines conditions extérieures dont nous parlerons plus loin se trouveront réalisées. Lorsque cette adaptation de l'organisme vient brusquement à être troublée par la traversée d'un air agité, ou par une acrobatie quelconque, les conditions ne sont plus les mêmes et peuvent engendrer des troubles nouveaux que nous allons maintenant décrire.

§ II. — *Malaises et troubles à la descente, en air agité, ou en vol acrobatique.*

La sensation éprouvée lorsque le pilote coupe l'allumage et que la descente s'amorce est très pénible, surtout au débutant et à l'observateur qui ne s'y attend pas. Le bruit du moteur qui cesse brusquement, la vue de l'appareil qui s'incline vers le sol, le déséquilibre brutal des renseignements fournis par le sens musculaire déterminent une sensation angoissante que tout passager accuse et avoue.

La pression extérieure augmente rapidement (elle repasse de 370 millimètres de mercure à 6.000 mètres, à 760 millimètres au sol) et n'est pas compensée immédiatement dans l'oreille moyenne. Les variations de pression artérielle cranio-cérébrale ne sont également compensées au labyrinthe qu'avec une lenteur relative. Cette période de déséquilibre se traduit pendant la descente par de fausses sensations et des troubles auriculaires. Le pilote ne sent plus bien ni sa ligne de vol, ni sa vitesse : il lui faut le secours de ses instruments (indicateur de vitesse, compte-tours) et la notion d'excès de puissance donnée par le sifflement de l'air dans les tendeurs.

La sensation de plénitude auriculaire réapparaît ainsi que les battements en salves et les bourdonnements d'oreille.

Le mauvais temps produit des troubles passagers analogues à ceux de la descente. Pour l'aviateur, le mauvais temps n'est pas tant la pluie ou le vent que toute cause d'agitation atmosphérique : chaleur, condensations aériennes sur les montagnes et les gorges, survol des fleuves et des villes, etc... L'atmosphère inégale est alors remplie de trous d'air et de remous qui se traduisent par un brusque déplacement de l'avion soit latéralement, soit dans le sens vertical : montée subite, piquée, plaquage. La respiration paraît coupée tout à coup, le cœur se ralentit puis s'accélère, parfois jusqu'aux palpitations. Le pilote qui n'a pas senti venir le « coup de tabac » se crispe sur ses commandes, ce qui, au lieu de rendre docile son appareil, le secoue encore davantage... et il attend

anxieusement ce qui va arriver. Normalement tout doit rentrer dans l'ordre. Parfois, cependant, contrariant trop son avion, ou faisant une fausse manœuvre, l'aviateur peut amener lui-même la chute. Dans nos premiers vols effectués aux heures moyennes des journées d'été nous avons failli être victime de nos réactions trop intenses ou anormales.

Dans les spirales serrées, le vertige est facilement ressenti si les impressions visuelles et vestibulaires sont discordantes. Au cours d'une de ces descentes, tournant de droite à gauche au-dessus de Mulhouse et nous retournant pour « parler » (?) à notre passager, le sol semblant se déplacer rapidement sous les ailes de gauche à droite, nous éprouvâmes un vertige intense qui disparut très vite en fermant les yeux.

Nous le ressentîmes également plusieurs fois où, volant normalement, nous rencontrâmes des nuages venant latéralement ou des appareils dont la position ou la direction de vol étaient très différentes des nôtres.

Le vertige se produit, dans les acrobaties, si l'on ne regarde pas où il faut, c'est-à-dire sa carlingue dans le looping ou la vrille, l'aile interne dans le virage à la verticale ou le retournement.

Après l'atterrissage, le sens musculaire ne redonne ses indications nettes qu'au bout d'un certain temps. On éprouve une grande légèreté, la démarche est ébrieuse, les mouvements imprécis, incertains et in-

coordonnés. Ces troubles disparaissent rapidement, d'autant moins cependant que le vol a été plus long ou plus mouvementé. Les plus persistants sont les bruits auriculaires subjectifs (trois heures avec moteur fixe à l'arrière; une demi-heure à une heure avec moteur rotatif à l'avant) et l'irritabilité bien connue des journalistes venant interviewer les aviateurs à l'atterrissage et des mécaniciens qui, d'ailleurs, n'en gardaient pas rancune à leurs « patrons ». Il ne restera bientôt plus qu'une sensation de fatigue, rapidement effacée par un sommeil réparateur profond. Les aviateurs de nuit sont les plus exposés à cette fatigue par suite de l'ennui inséparable du vol prolongé, sans distractions et surtout de l'extrême tension nerveuse nécessitée par le pilotage de l'avion et la recherche de l'itinéraire à suivre.

Le vol en avion provoque donc des troubles physiologiques chez l'homme sain. Ils ne se stabiliseront et ne deviendront pathologiques que chez les aviateurs fatigués ou obligés à des voyages nombreux et répétés parfois à de hautes altitudes. Ils pourront cependant être assez accentués pour rendre le vol dangereux au pilote qui y serait trop sensible ou qui présenterait des réactions anormales, trop violentes ou trop faibles. Une sélection et un contrôle médical sont donc nécessaires pour garantir la sécurité du pilote et des passagers.

§ III. — *Etiologie et pathogénie*

De nombreuses théories ont été émises pour expliquer ces troubles chez les aviateurs :

1° La première en date est celle de l'*anoxhémie* de Paul Bert et Jourdanet, d'après laquelle la dépression atmosphérique n'interviendrait qu'en diminuant la tension de l'oxygène dans le sang. Fonck, Casale, Moutonnier et Schroeder ont atteint 9.000 et 10.000 mètres en y suppléant par des inhalations d'oxygène pur. Toutefois, la diminution de pression doit également agir puisque l'introduction d'un gaz inerte sous la cloche pneumatique peut ranimer un animal sur le point de mourir par suite de la raréfaction de l'air (Germe).

2° Mosso soutient la théorie de l'*acapnie* d'après laquelle les troubles seraient dus à l'insuffisance de gaz carbonique dans le sang.

3° La *fatigue* intervient également. C'est elle surtout qui explique la différence d'altitude à laquelle apparaissent les premiers troubles chez les aviateurs et chez les alpinistes. Perrin de Brichambault en trouve une seconde vérification dans l'apparition du « mal des aviateurs » chez certains moniteurs d'école ayant volé beaucoup, très souvent dans la journée, à des altitudes toujours inférieures à 1.500 mètres.

Le froid ne peut que hâter l'apparition de certains symptômes.

4° *Ralentissement des combustions.* — Il y a production anormale de substances toxiques de la série azotée (azote non uréique de Chabanier et de Castro Galhardo, ammoniacque de J. Teissier) et alcaloïdes, en même temps que ralentissement de la production de l'urée (4). Il y a, en effet, diminution de l'urée dans

l'urine et diminution du taux uréique du sang (Piéry et Paillier). Ces modifications nous paraissent devoir être rapportées à l'imperfection des combustions dans l'air raréfié et à la diminution rapidement croissante du débit respiratoire (Piéry et Michel).

5° *Auto-intoxication par altérations rénales.*— Ferry attribue à l'atteinte rénale le rôle le plus important dans la production du « mal des aviateurs ». Il y a, en effet, pendant le vol, une diminution passagère de la diurèse, après l'atterrissage, une décharge urinaire amenant une amélioration des troubles d'intoxication ou des accidents d'urémie chez les sujets dont les appareils d'élimination présentent une tare.

6° *Perturbations de la fonction circulatoire.* — Les prises de tension artérielle à bord ont montré :

A. *Pour la pression maxima* : à la montée, une baisse (maximum 1/2 centimètre à 300 mètres) suivie d'une augmentation plus forte. A la descente, une baisse plus accentuée de sorte qu'à l'atterrissage elle est inférieure à celle du départ pour baisser quelque temps encore après le retour au sol. Cette hypotension est d'autant plus accusée :

- a) que l'altitude atteinte a été plus élevée;
- b) que, pour une même altitude, le vol a été de plus courte durée;
- c) que la montée et la descente surtout ont été plus rapides ou plus mouvementées ;

Trente minutes à une heure après le vol, elle est généralement revenue à la normale (Ferry).

B. *Pour la pression minima*, on constate une baisse

à la montée, suivie d'une hausse plus accentuée à la descente, de sorte qu'à l'atterrissage elle est un peu supérieure à celle du départ. Mais ce n'est qu'une augmentation passagère à laquelle fait suite, chez les asthéniques surtout, selon Cruchet, une hypotension durable.

Malheureusement les mesures de tension à bord des avions sont rendues difficiles du fait des trépidations du moteur; aussi, Garsaux les a-t-il pratiquées dans sa cloche pneumatique sur un sujet d'abord au repos, puis en travail. Un dispositif frigorifique permet de se rapprocher le plus possible des conditions du vol. Les résultats ont, dans l'ensemble, confirmé ceux qu'ont obtenus les expérimentateurs à bord. Ce sont aussi les conclusions des médecins qui ont pris des tensions après les vols dans les écoles d'aviation ou aux armées, et celles de Ferry et Perrin de Brichambault après des mesures pratiquées sur deux lapins enlevés en avion.

Tara, en prenant les moyennes de 400 mesures effectuées avec le Pachon, à la VIII^e armée, en 1918, trouve :

	<i>Au repos</i>	<i>Après une période de vols</i>
P. maxima	15 à 16	14 à 15
P. minima	8 à 9	7 à 8 (6,5 chez beaucoup de pilotes de chasse)

Ces fluctuations de la tension sanguine amèneraient

une fatigue cardiaque précoce et une ischémie passagère des différents organes. « Les oscillations de la pression constatées à la montée, toujours lente par rapport à la descente, peuvent être envisagées comme le résultat des réactions vaso-motrices engendrées par la raréfaction progressive de l'air, le refroidissement, l'état hygrométrique différent. A la descente, au contraire, le cœur ne peut adapter suffisamment son effort systolique aux influences ambiantes trop brusquement changeantes. A rechercher toujours en vain cet état d'équilibre physiologique, il se surmène et se fatigue. Ce qui explique non seulement l'hypotension, mais la lassitude disproportionnée à l'effort fourni que l'on constate chez la plupart des aviateurs. » (Ferry.)

7° *La dilatation des gaz intestinaux* générerait l'inspiration thoracique en refoulant le diaphragme.

8° *Action du vide pleural.*

Ce vide ferait baisser l'aspiration thoracique lorsque la pression extérieure vient à baisser. Il en résulterait une béance des veines et une stagnation dans le système veineux pulmonaire.

9° *Action des traumatismes acoustiques* dus au moteur et au sifflement de l'air dans les tendeurs.

Les organes de l'audition, mis en état d'anémie passagère, sont rendus plus sensibles à cet éblouissement acoustique (Jacques).

Ces diverses causes agissent de façon extrêmement complexes. « A la théorie de la diminution de pres-

sion du vide pleural se rattachent les réactions d'origine mécanique. Aux théories de l'anoxhémie, de l'acapnie, de la fatigue se rattachent des réactions d'ordre physiologique, physio-pathologique parfois. Les unes et les autres agissent sur l'organisme par la dénutrition des tissus, par leur réaction nerveuse et vaso-motrice propre, par les altérations des reins et par le ralentissement de leurs fonctions avec l'auto-intoxication qui en résulte. » (Soubies.)

CHAPITRE II

Nécessité d'un examen otologique.

Nous avons vu que la dépression barométrique, le froid, la ventilation et le traumatisme acoustique créaient chez l'aviateur des troubles divers dont quelques-uns sont dus aux modifications survenant au labyrinthe et à l'oreille moyenne.

Fixes ou rotatifs, les moteurs donnent un ronflement, grave pour les premiers, aigu et musical pour les seconds. Dans les avions multimoteurs, on perçoit, surajoutés au ronflement habituel, des battements caractéristiques dus à des interférences entre les tons des deux moteurs non exactement accordés. Ces battements rythmiques sont particulièrement fatigants. L'hélice donne un sifflement strident. Enfin, les tendeurs et haubans vibrent, surtout aux grandes vitesses. Ce dernier bruit est masqué par les précédents en vol horizontal ou en montée, mais il est perçu à plusieurs centaines de mètres dans les descentes faites en excédent de vitesse. Le pilote est généralement peu gêné par cet éblouissement acoustique auquel il

s'adapte vite. Tout au plus restera-t-il quelque temps après l'atterrissage des bruits subjectifs ou une légère surdité persistant quelques heures, rarement une journée.

Pour remédier à ces troubles on a conseillé de protéger les oreilles pendant le vol par l'obturation du conduit à l'aide de tampons d'ouate. A la vérité, aucun pilote n'utilise ce moyen qui entrave l'audition et est susceptible de l'empêcher d'apprécier la marche du moteur : le remède devient alors pire que le mal.

A la longue, il se produit des altérations anatomiques et des troubles fonctionnels analogues à ceux que l'on a trouvé chez les chaudronniers, les maréchaux-ferrants, les téléphonistes, les mécaniciens et les artilleurs : bourdonnements d'oreilles, hyperesthésie acoustique, paralysie progressive de l'ouïe par épuisement fonctionnel des centres auditifs. Le personnel navigant jeune ou sain supportera bien plus longtemps ce traumatisme que les passagers plus âgés (officiers observateurs, hommes d'affaires habitués des lignes commerciales, etc...) Ceux-ci ont une oreille plus ou moins sclérosée qui s'adapte mal aux vibrations constantes de l'air extérieur et, par conséquent, se défend mal. A plus forte raison tout sujet à oreille pathologique, suppurative ou cicatricielle le tolérera-t-il encore moins longtemps.

L'acuité auditive doit être normale, car, de toute évidence, il faut que le pilote puisse suivre ou entendre les moindres perturbations du bruit de son avion. L'aviateur Gilbert, devenu dur d'oreille, ne s'aperçut

pas de l'arrêt de son moteur et périt dans un accident stupide à Villacoublay.

Une seconde considération intervient pour obliger le pilote à un examen otologique : la nécessité d'une bonne perméabilité tubaire. On s'imagine aisément la fâcheuse influence que peut avoir une trompe imperméable chez un sujet exposé à subir en quelques minutes des variations barométriques de 20 à 30 centimètres de mercure (1).

L'air qui remplit le conduit auditif externe dans une couche atmosphérique donnée se trouve à une pression différente de celui qui a été emmagasiné par l'oreille moyenne dans la couche atmosphérique précédente, d'où tractions sur le tympan et sur la chaîne des osselets, d'où les bourdonnements et la surdité qui cessent d'ailleurs dès qu'un mouvement de déglutition, ouvrant la trompe d'Eustache, rétablit l'égalité de pression des deux côtés du tympan. L'otoscopie pratiquée chez des sujets venant d'atterrir permet d'ailleurs de constater des traces objectives de ces réactions de l'oreille. « On trouve, dit Lacroix, d'une part un liseré rouge tout au long, en avant et en arrière du manche du marteau, d'autre part, un état congestif parfois très intense de la membrane de Schrapnell. Cet aspect du tympan est celui que l'on provoque en redressant par des insufflations d'air dans l'oreille moyenne, un tympan rétracté. Il traduit

(1) 370 mms de Hg à 6.000 mètres.

530	—	3.000	—
760	—	au sol	

bien les mouvements successifs « de refoulement et de rétraction que doit subir le tympan pendant les vols sous l'influence du vent, des changements de pression atmosphérique et des mouvements régulateurs de déglutition ».

Le professeur Reverchon rapporte au Congrès international de la navigation aérienne de 1921 le fait suivant qui fait bien ressortir la nécessité de la perméabilité tubaire chez ceux qui s'exposent à de brusques changements de pression extérieure :

« M. Beyne avait conduit à Saint-Cyr un groupe de médecins qui devaient être mis à la tête de divers centres. L'un d'eux, garçon de 35 ans extrêmement sain en apparence, s'offre pour entrer dans le caisson. Il monte à 3.500 mètres dans la cloche pneumatique. Celle-ci était maniée par M. Behague qui la connaissait bien et qui était avec le médecin en question dans l'appareil. Tout se passa bien à la montée. À la descente qui fut très lente, le sujet fut pris d'une syncope et d'une otorrhagie. Examiné par nous le lendemain, il avait une rupture tympanique horizontale et de l'autre côté, une suffusion sanguine : les deux trompes étaient complètement imperméables ! »

Le médecin en question ne s'en était jamais douté et n'en avait jamais souffert. Les trompes d'Eustache peuvent donc être imperméables sans donner aucun symptôme pendant la vie courante puisqu'un médecin lui-même ne s'en était nullement aperçu.

Nous avons vu un accident se produire dans des conditions équivalentes : Ayant eu une panne à 4.000 mètres de hauteur, nous descendions très rapidement, en spirales (moins de cinq minutes après nous devions toucher le sol). Un peu avant d'atterrir, nous nous retournions pour communiquer avec notre passager, le sous-lieutenant S..., peu habitué aux vols d'altitude.

Il était effondré au fond de la carlingue, avait une otorrhagie, une rupture du tympan gauche et une paralysie faciale qui disparut en quarante-huit heures : sa perméabilité tubaire n'avait pas été vérifiée à son entrée dans l'aviation.

Pour l'établissement rapide d'une bonne compensation aérienne à l'oreille moyenne, il est indispensable, non seulement que la trompe elle-même ait été reconnue perméable aux épreuves cliniques, mais encore que :

a) Rien ne s'oppose à l'arrivée de l'air par le nez, la bouche et le rhino-pharynx ;

b) La membrane tympanique puisse librement se plier aux mouvements alternatifs de refoulement et de rétraction.

C'est dire que, d'une part, le sujet ne devra pas être gêné par la présence de grosses amygdales, de végétations adénoïdes, de queues de cornet saillantes, d'une cloison nasale déviée, etc., et que d'autre part, son tympan devra être mobile, sans rétraction ni épaissement.

C'est surtout l'oreille en tant qu'appareil d'équilibration qui devra être en état parfait d'intégrité fonctionnelle. On conçoit aisément combien est redoutable pour le pilote la moindre altération du sens de l'équilibre. Un trouble, même passager, est pour lui gros de conséquences. Or, les petits vertigineux sont peut-être plus nombreux qu'on ne le croit. Beaucoup, s'aidant de leur béquille visuelle, ne se plaignent pas de leur état, mais chez le pilote, ce secours peut arri-

ver à manquer (nuit, brume, nuages, etc.).

D'autre part, les renseignements fournis par la sensibilité profonde sont, en avion, très réduits sinon totalement faussés. « Habitué que nous sommes à rapporter à l'accélération de pesanteur toutes nos sensations internes qui sont habituellement conditionnées par la pesanteur seule, nous nous trouvons incapables d'interpréter utilement des sensations qui ont pour origine une résultante de la pesanteur et de forces nouvelles » (Beyne).

C'est ce qui se produit chaque fois que l'avion n'est pas en mouvement strictement uniforme ; or, il ne l'est presque jamais.

L'aviateur ne se maintient donc souvent en l'air qu'avec son stabilisateur labyrinthique et ses instruments. Piloter exclusivement en se fiant à ces derniers est chose très dangereuse (indications fausses tenant à de mauvais réglages, à des vices de construction et surtout aux retards dus à l'inertie de leur masse) : il lui faut une oreille labyrinthique à fonctionnement parfait.

Quelques faits le feront d'ailleurs bien ressortir :

En sortant des nuages, l'aviateur est souvent surpris de la position prise à son insu par son appareil.

Graeve Anderson est monté en avion les yeux bandés ; il devait décrire au pilote les mouvements de l'appareil. Au début du vol, sa description fut exacte, mais bientôt il perdit la notion de sa position dans l'espace.

Volant au-dessus de Bourges par une nuit très noire où la ligne d'horizon ne pouvait plus être distinguée, nous partîmes tout d'un coup, à notre grande surprise, en glissade sur l'aile : nous avions, sans nous en être rendu compte, laissé notre appareil s'incliner de 60 à 70 degrés !

Nous connaissons un vieil aviateur de nuit qui fut pris d'un tel déséquilibre, que, se rendant compte de l'illogisme et du danger de toutes les manœuvres anormales qu'il tentait, laissa aller son appareil. Celui-ci, très bien équilibré, reprit de lui-même son horizontalité en quelques secondes.

Nous avons parlé des sensations erronées produites, surtout au cours des descentes rapides et mouvementées, par des variations de pression artérielle non immédiatement compensées au labyrinthe. Ces troubles cessent si l'aviateur se remet en « palier », ils s'exaspèrent au contraire s'il augmente le « piqué ». Si dans ces conditions, la descente se prolonge trop près du sol, le pilote peut ne pas redresser son avion assez tôt, ne pas sentir venir la perte de vitesse, très dangereuse à faible altitude.

Ces sensations anormales peuvent apparaître dans diverses autres conditions : dans les spirales serrées ou dans les vrilles, si le pilote, en regardant ses ailes, voit le sol tourner en sens contraire à la rotation de son avion ; dans les déplacements brusques que subit l'appareil dans les trois directions de l'espace ; à la traversée d'un air agité. Le sens de l'équilibre est alors perturbé, très passagèrement si le labyrinthe est normal, d'une façon beaucoup plus inquiétante si son intégrité fonctionnelle n'est pas parfaite.

La nécessité du sélectionnement médical des candidats et du contrôle périodique des pilotes au point de vue otologique apparaît manifeste, si l'on considère l'avenir de ceux qui ont été acceptés malgré leurs

lésions ou de ceux qui ne se sont pas soumis à l'examen.

En octobre 1915, G. Laurens disait déjà : « A ma connaissance, cinq de mes camarades, aviateurs militaires, se sont tués depuis la campagne, victimes d'une lésion auriculaire qu'ils avaient dissimulée. L'un d'eux présentait une suppuration bilatérale de l'attique, avec cholestéatome, l'autre avait subi un évidement pétro-mastoïdien, avait guéri, mais conservait des vertiges et bourdonnements. »

Le lieutenant M... avait longtemps souffert d'otorrhée chronique « guérie » (?) depuis trois ans. Après avoir servi dans le génie, il avait demandé l'aviation afin de pouvoir, grâce à l'indemnité de vol, aider sa mère nécessiteuse. Alors que nous faisons ensemble notre apprentissage, il nous avoua souvent les craintes que lui donnait sa façon de piloter. D'ailleurs, à le voir voler, il était manifeste qu'il ne « sentait pas son appareil ». Nous lui conseillâmes, ainsi que notre camarade G..., de quitter l'aviation où très probablement il lui arriverait malheur. Il ne voulut pas le faire, tout en se rendant bien compte qu'il allait à la mort. Tant qu'il ne vola que de jour, tout alla bien sans autres accidents que deux appareils cassés à l'atterrissage, mais à son premier vol de nuit seul (la nuit était d'ailleurs très opaque et nous trouvions qu'il était imprudent de la part du moniteur de « lâcher » notre camarade dans ces conditions défavorables) nous eûmes, dès le départ, l'impression qu'il ne se rendait pas compte de sa position. A 400 mètres, il voulut virer, s'inclina très fortement (alors que, d'habitude, il accentuait très peu ses virages), et partit en glissade sans rien tenter pour en sortir. Il fut tué sur le coup.

Tous ceux qui ont fréquenté les milieux aéronautiques ont pu voir des aviateurs déclarés aptes après des examens très sérieux qui n'arrivaient à faire que des pilotes détestables, cassant du bois très régulière-

ment jusqu'à la chute fatale qui les guettait s'ils ne se faisaient radier. Or, un pilote peut avoir une constitution très normale le faisant agréer, ne présenter aucune tare, et cependant n'avoir un sens de l'équilibre que très peu sensible. Nous verrons, en étudiant les épreuves qui ont été employées pour ces examens, que Broca et Maublanc se sont efforcés de créer un matériel susceptible de déceler et de mesurer cette sensibilité d'équilibre, en qualité et en quantité. La qualité, pour un aviateur, c'est la perception bien nette d'un déplacement minime dans une quelconque des trois directions de l'espace. C'est elle qui fera qu'un aviateur sentira ou non son appareil. Les pilotes faisaient d'ailleurs les uns sur les autres des pronostics qui se réalisaient généralement. Ceux qui se tuaient étaient, sauf bris de pièces en l'air ou collisions, soient les imprudents (les « cherreurs »), soient ceux qui ne « sentaient pas leur zinc ».

Le sous-lieutenant D..., pilote de bombardement de nuit, partait toujours sous une inclinaison très forte en « chandelle ». Nous l'avertîmes du danger de ces départs que nous prenions pour une fantaisie: il nous avoua ne pas s'en rendre compte. Dès lors, nous savions qu'il se tuerait un jour, puisqu'il ne pouvait pas se corriger. Au cours d'une mission en Pologne, il tomba aussitôt après avoir quitté le sol. Il fut indemne, prit enfin le sage parti de se faire radier..., mais son observateur avait été tué dans l'accident.

Anderson, chirurgien attaché pendant la guerre au Royal Air Service, publie les accidents survenus en 1917, au cours de 9.000 vols effectués dans une école d'aviation anglaise :

Erreur de jugement	42
Affolement, fatigue cérébrale	11
Inévitables	5

Il estime que 91 % de ces chutes peuvent être rapportées à une défaillance physique du pilote (1).

Le Service de la Navigation aérienne avoue pour l'année 1920 (les pilotes subissaient alors des examens médicaux sérieux) : quarante accidents ainsi classés :

Faute de pilotage	14
Inévitables	23
Imprudence	1
Causes inconnues	2

L'Aéronautique militaire accuse, pour le service effectué en 1921, 91 accidents :

Faute de pilotage	46
Imprudences	16
Fautes de matériel	17
Causes inconnues et diverses	12

Dans ces deux dernières statistiques, la proportion des accidents susceptibles d'être prévus ou évités par l'examen médical des pilotes n'est plus que de 40 à 50 % (2).

Tel est le premier résultat de la sélection appliquée au recrutement des aviateurs (3). Alors qu'il y a huit

(1) Il n'est pas fait mention des chutes par imprudences parce qu'en école, le pilote ne se sent pas encore maître de son appareil pour se permettre les fantaisies qui plus tard lui viendront par crises.

(2) 45 et 62 % si nous attribuons au pilote tous les accidents déclarés de cause inconnue.

(3) En 1921, il n'y a eu dans les Compagnies de Navigation aérienne que 11 tués et 6 blessés pour 3 millions de kilomètres parcourus : un accident pour 800 voyages effectués.

ans seulement, presque tous les candidats étaient agréés (1), 40 % des postulants sont maintenant refusés.

Les divers centres militaires n'ont accepté, en 1921, que 603 sujets sur 1.033 présentés. Ont été éliminés après examen de l'oreille ou du sens de l'équilibration :

29 militaires sur 389 candidats, soit 5,9 %

40 civils sur 644 candidats, soit 6,2 %

(1) Les candidats évincés l'étaient généralement pour des raisons tout à fait étrangères à leur aptitude physique.

CHAPITRE III

Epreuves employées pour l'examen otologique.

Les épreuves qui ont été employées jusqu'ici pour l'examen otologique des aviateurs sont nombreuses. Il ne peut être question de les appliquer toutes à chaque expertise, du moins devons-nous en retenir suffisamment pour être à même de résoudre les questions suivantes :

- 1° Quelle est l'acuité auditive du sujet ?
- 2° La trompe d'Eustache est-elle perméable ?
- 3° Le sujet a-t-il de la déséquilibration spontanée ?
- 4° Comment réagit-il à une déséquilibration provoquée ?
- 5° Comment les noyaux oculo-moteurs réagissent-ils à une excitation des voies vestibulaires ?
- 6° Dans ces mêmes conditions, quelle est la réaction du cervelet ?

§ I. — RECHERCHE DE L'ACUITÉ AUDITIVE

Les épreuves devront être pratiquées pour chaque

oreille séparément, dans un endroit calme, le sujet étant placé près d'une fenêtre ouverte pour éviter le plus possible l'influence perturbatrice des murs sur le son. Elles sont destinées à rechercher le seuil auditif.

a) *Epreuve à la voix chuchotée.* — L'examineur se place à six mètres devant le candidat, exhale une partie de l'air contenu dans les poumons, puis, gardant sa respiration, murmure des nombres, des mots et des phrases que le sujet doit répéter. (On s'efforcera de choisir d'abord des sons aigus, puis des sons graves.)

Si au début, le candidat n'entend pas, le médecin doit se rapprocher jusqu'à ce qu'il puisse répéter sans faute les mots prononcés.

La distance séparant en dernier lieu le candidat de l'examineur ne doit pas être inférieure à trois mètres.

b) *Epreuve à la montre.* — Elle se pratique de la même façon que la précédente. On doit, avant d'utiliser une montre quelconque pour un examen, l'avoir essayée sur trois personnes à acuité auditive normale, au moins, et noter les distances auxquelles elles commencent à entendre les battements.

c) *Epreuve à l'inducteur acoumétrique.* — Robert Foy a fait construire cet appareil, très utile pour la mesure de l'acuité et de l'orientation auditive. Le seuil tolérable est de cinquante centimètres.

d) *Epreuves de Rinne et de Weber.* — Ces épreuves classiques ont naturellement été employées pour la

recherche de la valeur fonctionnelle de l'oreille auditive.

§ II. — RECHERCHE DE LA PERMÉABILITÉ TUBAIRE

a) *Epreuve de Valsalva contrôlée au spéculum.* — Si le triangle lumineux de Politzer perd sa forme, son aspect régulier, l'air passe (1).

b) *Epreuve de Politzer.*

c) Nous devons joindre à ces épreuves les renseignements fournis par l'examen du nez, du cavum, de la bouche et de la membrane tympanique.

§ III. — LE SUJET A-T-IL DE LA DÉSÉQUILIBRATION SPONTANÉE ?

a) *Romberg pieds joints.*

b) *Romberg sensibilisé.* — Pieds l'un devant l'autre, la pointe du pied postérieur touchant le talon de l'antérieur. Successivement pied droit, puis pied gauche en avant.

c) Station sur le pied droit puis sur le pied gauche.

d) *Marche aveugle* (Babinski-Weill). — Le sujet, yeux bandés, exécute des séries de cinq pas en avant et de cinq pas en arrière. Normalement, il ne doit pas dévier.

§ IV. — COMMENT LE SUJET RÉAGIT-IL A UNE DÉSÉQUILIBRATION PROVOQUÉE ?

a) *Epreuve de Grivot.* — On fait exécuter au sujet placé debout et les yeux bandés, cinq tours sur lui-même à la vitesse moyenne de un tour par seconde. A l'arrêt, on le fait marcher droit devant lui.

Si la rotation s'est effectuée par le flanc droit, il

(1) Nous devons toutefois nous rappeler que l'air peut passer à travers une trompe pathologique et ne pas passer chez un sujet normal.

devra dévier : à droite, si la tête est inclinée en avant, à gauche, si la tête est penchée en arrière.

Après rotation par le flanc gauche, les réactions seraient inverses.

b) *Epreuve du bâton de Moure*. — Le sujet exécute cinq tours sur lui-même, ayant pour axe de rotation la tête, appuyée sur ses mains placées au sommet d'une canne. A l'arrêt, on lui dit de marcher droit devant lui.

Si la rotation s'est faite par le flanc gauche, il déviara vers la droite ; si elle s'est faite par le flanc droit, il déviara vers la gauche.

c) *Epreuve de l'équilibration retardée* (R. Foy, Reverchon). — Le sujet, debout et les yeux bandés, exécute sur place trois gyrations sur lui-même à la vitesse d'un tour à la seconde. Quand il s'arrête, on note le temps qu'il met à reprendre son équilibre en Romberg sensibilisé, le pied placé en avant étant celui du nom du flanc par lequel s'effectue la rotation. (Normale : 15 à 20 secondes.)

Après un repos de quelques minutes, on recommence l'épreuve par gyration du côté opposé.

S'il n'y a pas de déséquilibration après trois tours, on répétera l'épreuve avec six tours. (On trouve alors de 20 à 30 secondes.)

d) *Epreuve d'équilibration retardée à l'air froid* (P. de Brichambault). — Le sujet, les mains derrière le dos et les yeux bandés, est placé en position de Romberg sensibilisé. On ventile un des conduits auditifs jusqu'à ce qu'il se déséquilibre, ce qui est obtenu

normalement en dix secondes. Il lui faut trente secondes pour retrouver son équilibre.

e) Déséquilibration par épreuves galvaniques :

1° Epreuve de Babinski : Sujet debout, tampons excitateurs imbibés d'eau salée aux mastoïdes. Normalement il incline la tête du côté du pôle +, vers six milliampères. Dans les cas pathologiques graves, l'inclinaison se fait toujours du côté du vestibule lésé. En cas de lésion labyrinthique légère unilatérale, il y a retard ou précocité à l'inclinaison. Dans les cas pathologiques légers bilatéraux identiques, l'inclinaison a lieu en avant, en arrière ou fait défaut ; elle se produit du côté le plus atteint en cas de lésions bilatérales inégales.

2° Epreuve de Perrin de Brichambault : C'est l'épreuve de Babinski sensibilisée. La technique est la même, mais le sujet la subit en position de Romberg sensibilisée, le pied antérieur étant l'homologue de l'oreille où est placé l'anode.

La déséquilibration est obtenue avec trois milliampères, ce qui rend l'épreuve plus supportable pour le sujet et ne nécessite que six à huit éléments de piles au lieu de dix-huit à vingt-quatre.

f) *Epreuve de Mach.* — Le sujet est placé sur un siège de pilote tournant dans un sens déterminé.

Un individu sain perçoit alors la rotation dans le sens réel. A l'arrêt, il a l'impression d'une contre-rotation à droite. La rotation faite à droite serait

perçue, mais la contre-rotation à gauche ne serait pas sentie à l'arrêt.

Si la lésion labyrinthique siégeait à droite, les phénomènes seraient inverses.

g) *Mesure des temps de réaction aux variations d'équilibre.* — Pour cette épreuve, P. Broca a fait construire un fauteuil oscillant et gyratoire basé sur l'orientation des canaux semi-circulaires qui sont orientés dans les trois plans : sagittal, transversal et horizontal. On imprime à l'appareil des oscillations dans une de ces trois directions, de manière à solliciter plus particulièrement le fonctionnement de tel ou tel canal. Un dispositif spécial inscrit le temps mis par le sujet à s'apercevoir du changement de position et à lui réagir.

On obtient pour les individus normaux :

Candidats pilotes :

Sens sagittal	12	centièmes de seconde
Sens transversal ..	12	— —
Sens horizontal ..	18	— —

Pilotes entraînés :

Sens sagittal	9	centièmes de seconde
Sens transversal ..	9	— —
Sens horizontal ..	15	— —

Les réactions du sens transversal étant les mêmes que celles du sens sagittal, ont été supprimées.

Ces résultats montrent que les temps de réaction aux variations d'équilibre s'améliorent par l'entraînement

et la pratique de l'aviation. Ils varient également avec l'âge, les blessures, les maladies et la fatigue.

Il y a lieu d'attacher la plus grande importance à la stabilité des réactions. Broca propose d'éliminer tous les candidats présentant dans le sens horizontal une réaction supérieure à vingt centièmes de seconde ou des écarts supérieurs à cinq centièmes de seconde à des observations successives. Il ne tolère, pour le sens sagittal que douze centièmes et des écarts inférieurs à quatre.

§ V. — COMMENT LES NOYAUX OCULO-MOTEURS
RÉAGISSENT-IL A UNE EXCITATION DES VOIES
VESTIBULAIRES ?

a) *Nystagmus post-rotatoire*. — Au fauteuil tournant, on fait exécuter au sujet dix rotations en flanc droit. Le nystagmus dure environ trente secondes (le temps rapide étant dirigé du côté opposé à la gyration). Il peut être contrôlé :

1° Par l'observation du regard latéral du sujet.

2° En observant le regard direct du sujet, derrière des lunettes en verre dépoli (Hautant).

3° Par le « contrôle visio-dactyle » de R. Foy.

L'index de l'observateur reposant légèrement sur les paupières abaissées du sujet sent les oscillations, en nombre et en amplitude (90 à la minute).

4° Par la « méthode de la flamme chantante » (Novak).

Une flamme longue de un centimètre vibre lors-

qu'on la coiffe d'un tube de verre. Dans une chambre noire, elle apparaît comme une simple raie, mais en cas de nystagmus, elle se présente comme une série de lumières en dents de scie. Cette impression apparaît dès la première secousse et cesse avec la dernière.

Cette méthode est pratiquée par Bentley et Griffith à l'Université d'Illinois.

b) *Nystagmus post-thermique.*

1° Epreuve à l'eau froide (Barany) : Eau à 26°, sous une pression de cinquante centimètres. Le sujet regarde du côté opposé à l'oreille injectée. Chez un individu normal, nystagmus de une à deux minutes, au bout de quarante secondes.

2° Epreuve à l'eau chaude : Eau à 40°. Le sujet regarde du côté de l'oreille injectée. Le nystagmus apparaît au bout de 50 à 90 secondes et persiste de deux à trois minutes.

3° Epreuve au chlorure d'éthyle (Dundas-Grant).

4° Par refroidissement à la glace, d'une masse d'air projetée dans le conduit auditif externe à l'aide d'une soufflerie à main (Rozier).

5° Epreuve à l'air froid (R. Foy).

On utilise une bouteille à air comprimé. L'extrémité du pistolet doit être introduite à un centimètre dans le conduit auditif externe. La pression est réglée à 30 cms de Hg.

Normalement, le nystagmus apparaît au bout de trente secondes et dure un peu moins de trois minutes, avec une fréquence de quatre-vingt-dix pulsations à

la minute. (Ne les compter qu'une fois le phénomène bien établi.)

Le réflexe étant déclenché, on peut faire varier la position de la tête du sujet pour interroger plus particulièrement tel ou tel canal (Lombard). La tête légèrement inclinée en arrière paraît une position satisfaisante pour l'examen de l'ensemble des canaux.

c) *Epreuve des mouvements brusques.* — Dans certains cas de lésions circonscrites de l'appareil vestibulaire central ou périphérique, un mouvement brusque de la tête peut déterminer une sorte de crise nystagmique de quelques secondes.

§ VI. — MOUVEMENTS RÉACTIONNELS

a) *Epreuve de l'indication de Barany.* — On fait asseoir le sujet et, étant assis devant lui, on le prie de porter rapidement son index droit successivement de son genou à un de nos doigts placé assez haut devant lui. L'épreuve est effectuée les yeux ouverts puis les yeux fermés. On la recommence avec l'index gauche.

Un sujet sain exécutera le mouvement de va et vient sans déviation.

b) *Epreuve de Hautant.* — Le sujet est placé debout, les yeux fermés. On lui dit d'étendre les deux bras horizontalement et parallèlement devant lui. Il n'y aura aucune déviation spontanée qu'en cas de lésion des voies vestibulo-bulbo-cérébelleuses (du côté de la lésion si celle-ci est irritative, du côté opposé si elle est destructive).

c) *Indication post-rotatoire.* — Le sujet vient d'exécuter l'épreuve du fauteuil. A l'arrêt, tout en restant les yeux fermés, il doit étendre le bras horizontalement devant lui. Normalement, il le dévient un peu dans le sens de la gyration. Dans les cas pathologiques cette déviation sera exagérée, absente ou, plus souvent encore, orientée toujours du même côté, quel que soit le sens de la rotation.

CHAPITRE IV

Interprétation et discussion des épreuves.

Nous avons essayé de montrer qu'il était nécessaire non seulement de sélectionner les candidats aviateurs, mais encore d'examiner périodiquement les pilotes en exercice, puisque la pratique du vol modifie constamment leur organisme.

Le contrôle que nous imposerons aux postulants sera plus complet et plus rigoureux que ceux auxquels seront soumis régulièrement les aviateurs au cours de leur carrière. Dans ce dernier cas, en effet, nous aurons affaire à des sujets dont l'aptitude aura été reconnue antérieurement au moins une fois après un examen détaillé. Il nous suffira alors de rechercher : d'une part les symptômes de surentraînement (hypotension, asthénie persistante, manque de résistance à l'altitude), d'autre part les traces d'une modification organique ou fonctionnelle nouvelle.

Nous sommes ainsi amenés à étudier deux types d'examens médicaux :

a) *Examen initial d'aptitude.* — Il portera sur tous les organes et toutes les fonctions. S'adressant à un sujet inconnu des examinateurs, il sera nécessairement long.

b) *Examens périodiques et occasionnels de contrôle d'aptitude.* — Ces certificats seront délivrés à des pilotes que nous dérangerons de leur service et qui, le plus souvent, considéreront les examens comme des corvées ennuyeuses, sur la nécessité desquels ils seront généralement sceptiques. Tâchons du moins de ne pas les leur rendre trop pénibles, trop longs, ni trop douloureux (1). Autrement ils chercheraient à s'y soustraire et notre but ne pourrait pas être atteint.

Robert Foy et Reverchon insistent particulièrement sur ce point.

Quoique simple et rapide, l'examen devra être véritablement probant. Notre réponse pourra être grosse de conséquences pour l'avenir du sujet. Un certificat d'inaptitude délivré à un pilote en service serait pour lui le retrait d'un emploi qui souvent est son seul gagne-pain ; accepter un candidat dont l'incapacité physiologique nous aurait échappée, nous exposerait au remords d'un accident arrivé par notre faute ou notre négligence.

L'arrêt des examinateurs devra s'appuyer sur toutes les notions que peut leur donner la science en son état actuel. L'examen de chaque fonction sera fait par un médecin, non seulement spécialisé dans la branche clinique correspondante, mais habitué aux expertises médico-aéronautiques. Ce n'est pas tant un diagnostic

(1) A Dijon, pendant la guerre, le seul examen otologique durait 3/4 d'heure à 1 heure.

précis qui lui est demandé, qu'une décision à prendre dans des conditions très particulières. Il ne sera capable de bien remplir son mandat qu'autant qu'un apprentissage spécial d'abord, une habitude prolongée de ces examens ensuite, l'auront rendu spécialiste des examens médicaux d'aptitude à l'aviation.

Il était nécessaire d'établir un service chargé de suivre l'évolution de la doctrine médicale en matière d'aéronautique, de se tenir au courant de tous les travaux publiés et d'informer les praticiens examinateurs de toutes les notions scientifiques nouvelles susceptibles d'éclairer et de diriger leur décision.

Cette lacune a été comblée par le décret du 1^{er} septembre 1922, créant, à dater du 1^{er} janvier 1923 un « Service médical d'Examens et d'Etudes pour le Service de l'Aéronautique et des Transports publics ».

Quelles épreuves choisir ? Celles que nous devons retenir seront basées sur des faits cliniques et sur des applications pratiques. « Sur le papier, il est facile d'établir de brillantes et séduisantes théories physiologiques du labyrinthe et des voies vestibulaires, mais, sans un contrôle clinique très étendu, ces théories n'ont que la valeur d'une hypothèse » (Robert Foy). Nous ne pouvons, d'autre part, compter que sur des épreuves objectives. Le candidat désirant être pris ou maintenu dans l'aviation aura trop d'intérêts à nous mentir pour que nous puissions accepter toutes ses réponses.

Les épreuves appliquées et leurs résultats enregis-

trés, il nous faudra en tirer des conclusions pratiques. C'est la partie la plus délicate de notre tâche, puisque de cette interprétation sortira notre avis sur l'aptitude du sujet examiné. « Nous devons suivre, dit justement Portmann, les principes généraux de la médecine qui nous commandent de ne pas attribuer à un symptôme isolé une valeur absolue, mais au contraire de s'appuyer sur un groupe symptomatique pour émettre une opinion diagnostique précise. »

Beaucoup d'états pathologiques peuvent s'accompagner de vertiges. Malheureusement, dans la plupart d'entre eux, il nous sera impossible de déceler ces troubles par des épreuves. Si nous n'avons pas la chance d'observer le sujet lors d'une crise vertigineuse, rien ne nous permettra de conclure que la maladie dont il souffre le rend inapte à l'aviation.

Prenons, par exemple, un dyspeptique. S'il vient nous trouver, c'est qu'il souhaite être agréé dans le personnel navigant : il ne nous avouera pas être quelquefois pris de vertiges. Nous pratiquerons alors les épreuves pouvant nous renseigner sur son sens de l'équilibration : elles sont normales. L'accepterons-nous ? Mais demain il peut, en vol, être sujet à une crise vertigineuse très dangereuse pour ses passagers et pour lui-même. L'éliminerons-nous au contraire ? Mais s'il nous fallait refuser tous les candidats présentant un état susceptible de retentir à certains moments sur le sens de l'équilibre, arriverions-nous à satisfaire les besoins des Compagnies de Transport et à recruter

les effectifs jugés nécessaires pour l'aéronautique militaire ?

Du moins le médecin devra-t-il avoir présent à l'esprit ces états ou maladies. Ce sont l'épilepsie, la neurasthénie, l'hystérie, le tabes (fruste ou manifeste), la sclérose en plaques (au début), la paralysie générale (rarement), l'artério-sclérose, la dyspepsie, l'anémie cérébrale (vertige anémique de Guéneau de Mussy), le goitre exophtalmique, les tumeurs cérébrales ou cérébelleuses, les états congestifs, l'intoxication alcoolique chronique (1), etc..

Il lui faudra penser, d'autre part aux causes provoquant un vertige passager, susceptible de disparaître avec la cause elle-même : Nicotine (2), intoxication chronique par l'oxyde de carbone, absorption de salicylate de soude, quinine, digitale, etc... ; plénitude de l'estomac (vertige *a crapula*), paroxysmes douloureux des hémorroïdes, de la cystite, de la colique néphrétique, etc... ; migraine, bouchons de cérumen.

Un interrogatoire habile, la gravité plus ou moins grande de l'état du sujet et notre bon sens surtout nous dicteront, dans ces cas, notre décision.

(1) L'alcoolisme est dangereux également par l'exaltation qui suit de copieuses libations. On connaît malheureusement de nombreux exemples de pilotes qui, s'étant livré dans ces conditions à des exercices fantaisistes, ont payé leur intolérance de leur vie.

(2) Le tabac et l'oxyde de carbone peuvent toutefois amener des troubles plus persistants. Weil cite le cas d'un paysan qui fuma 25 pipes de suite et resta vertigineux pendant des mois.

1° VALEUR DES ÉPREUVES EMPLOYÉES POUR LA RECHERCHE
DE L'ACUITÉ AUDITIVE

L'épreuve à la montre est plus précise que celle à la voix chuchotée à condition qu'elle ait été essayée auparavant sur plusieurs personnes à acuité auditive normale. Le timbre et l'intensité de la voix varient en effet, non seulement avec chaque examinateur, mais encore suivant les sons employés.

L'inducteur acoumétrique est préférable car il permet de connaître exactement l'intensité excitante. La simulation peut être dépistée par la recherche des réflexes cochléo-palpébral et cochléo-phonatoire (Lombard). Tout centre doit posséder cet appareil.

2° VALEUR DES ÉPREUVES EMPLOYÉES POUR LA RECHERCHE
DE LA PERMÉABILITÉ TUBAIRE

L'épreuve de Valsalva, contrôlée au spéculum, nous indique si l'air passe ou non, *dans les conditions de l'expérience*. Reverchon soumet tous ses sujets à l'épreuve de Politzer qui permet de se rendre compte de la qualité de la perméabilité tubaire. L'auscultation avec l'ostoscope de Toynbee donne en effet des renseignements précieux. Elle a l'inconvénient de nécessiter l'introduction de sondes dans la trompe d'Eustache, ce qui fatigue le sujet et peut déterminer des accidents.

Moure insiste beaucoup sur le fait que l'on peut toujours arriver à faire passer l'air et que cette preuve n'indique pas forcément une perméabilité tubaire suffisante.

Nous pourrons la pratiquer, mais les renseignements que nous en tirerons devront être complétés par les indications fournies par la recherche de toutes les causes pouvant retentir sur l'établissement d'une bonne compensation aérienne dans l'oreille moyenne. Notre opinion sera influencée par la présence de végétations adénoïdes, de queues de cornet saillant dans le rhino-pharynx, d'une cloison déviée, de grosses amygdales, d'un catarrhe otique, d'un tympan adhésif, etc..

C'est dire que notre réponse devra être dictée plus par notre esprit clinique que par le résultat d'une épreuve, quelle qu'elle soit.

3° EPREUVE METTANT EN ÉVIDENCE UNE DÉSÉQUILIBRATION SPONTANÉE FRUSTE

Une perte d'équilibre à l'épreuve du *Romberg sensibilisé*, une déviation accentuée à la marche aveugle aller et retour, sont des signes d'incapacité absolue sur la valeur desquels il n'y a guère de discussion possible.

Les épreuves employées pour l'interrogation du sens de l'équilibration nous permettent de localiser, parfois, l'origine du trouble, soit au cervelet, soit au labyrinthe. Ce diagnostic de localisation nous importe peu, le sujet trouvé insuffisant devant être éliminé dans un cas comme dans l'autre. Toutefois il pourra être utile de se rappeler que :

a) La *déséquilibration d'origine vestibulaire* est généralement plus violente les yeux fermés qu'ouverts. Dans les affections cérébelleuses, elle est à peu près

la même, qu'il y ait ou non secours de la vue.

b) Dans le vertige vestibulaire, le malade se sent vertigineux avant d'être objectivement déséquilibré. Dans les affections cérébelleuses, la déséquilibration précède la sensation.

c) La déséquilibration vestibulaire se manifeste surtout par une tendance à la chute dans une direction déterminée, alors que dans les affections cérébelleuses, il y a surtout titubation.

d) Dans les affections cérébelleuses et rétrolabyrinthiques, on trouve du ralentissement du pouls, de la céphalée et de l'asthénie beaucoup plus souvent que dans les affections vestibulaires.

4° EPREUVES ROTATOIRES ET NYSTAGMIQUES

La rotation est considérée par les otologistes comme l'équivalent des déplacements angulaires. La perception de ces déplacements est le point capital du sens de l'équilibre.

Les classiques enseignent que le labyrinthe membraneux est le point de départ de ce centre. Une rotation détermine un mouvement du liquide endolymphatique qui, par action sur les terminaisons nerveuses, engendre :

a) Des sensations de mouvement.

b) Du nystagmus dans le ou les plans des canaux intéressés.

Brabant croit, au contraire, que le sens de l'équilibre n'aurait le plus souvent d'autres organes périphériques que les muscles extrinsèques des globes

oculaires. La rotation les éloignant de leur position d'équilibre, déterminerait une réaction rappelant les yeux vers leur situation primitive (phase rapide). Le phénomène nystagmique serait la manifestation des alternatives d'une lutte entre les causes d'entraînement des globes et le mécanisme de leur équilibration statique ou dynamique. L'entraînement déterminerait l'une des phases, la réaction provoquerait l'autre.

Le nystagmus ne suivant pas les lois de l'hydrodynamique, ce ne seraient pas les mouvements de l'endolymphe qui exciteraient les labyrinthes et les noyaux oculo-moteurs. Il n'est, en effet, pas proportionnel aux modifications des divers facteurs de la rotation (vitesse, durée, nombre de tours).

L'absence ou la diminution des réactions post-gyatoires, si elle peut signifier l'absence ou l'hypofonctionnement de la fonction d'auto-équilibration, peut signifier tout autre chose, totalement indépendant de la stimulation rotatoire. Il ne faudrait donc pas considérer les épreuves nystagmiques comme des tests d'exclusion à appliquer rigoureusement.

Buys déclare : « L'épreuve de la rotation après dix tours, peut faire soupçonner une abolition vestibulaire unilatérale, sans jamais donner de certitude ».

Flach écrit dans l'*Aéronautique* de novembre 1920 : « Des recherches faites sur des pilotes anglais ont montré que si ces tests avaient été appliqués exactement, un grand nombre d'aviateurs pleins de succès eussent été refusés. »

Quant à la valeur des sensations pendant la rota-

tion, elle est très relative et ne saurait avoir une grande importance.

Les mouvements de réaction des bras, du tronc et de la tête peuvent être recherchés, mais il est toujours délicat de dire chez tel sujet où commencent les réactions anormales.

En s'adressant au contraire à des épreuves fonctionnelles telles que le Romberg sensibilisé, la mesure du plus petit décalage angulaire senti par le sujet, avec son temps de perception ou la recherche de l'équilibration retardée, on a la correspondance réelle avec les postulats de la pratique du métier d'aviateur, quel que soit le mécanisme de l'auto-équilibration.

D'autre part, presque toutes les épreuves nystagmiques présentent de gros inconvénients :

L'épreuve de l'eau chaude est peu sensible et exige de nombreux préparatifs.

L'épreuve à l'eau froide est pénible pour le sujet ; elle est contre-indiquée en cas de suppuration ou de perforation tympanique.

L'épreuve au chlorure d'éthyle est malodorante, coûteuse et peut être dangereuse.

L'épreuve à l'air froid est mieux supportée mais, comme dans toutes les épreuves nystagmiques, il est difficile de bien noter l'apparition de la première secousse et la disparition exacte du phénomène. La méthode de la « flamme chantante » proposée dernièrement par Novak serait peut-être plus juste, mais, reposant uniquement sur la réponse du sujet, elle ne peut être acceptée. Le temps de ventilation nécessaire

au déclenchement du nystagmus, la durée de la réaction peuvent d'ailleurs varier en dehors de toute anomalie vestibulaire : retardée par sclérose du tympan, accélérée en cas de fissure dans la paroi labyrinthique ou de perforation tympanique.

L'épreuve du nystagmus gyrotatoire fait entrer en ligne de compte de nombreuses causes d'erreur : excitation du sens musculaire profond, des deux labyrinthes, de la sensibilité cutanée, centrifugation de la moelle, du bulbe, du cervelet et des liquides encéphaliques. Toutefois, si nous ne cherchons que des renseignements généraux sur l'équilibration et la stabilité du sujet, elle nous paraît utilisable, en tenant compte des réserves faites précédemment.

5° MESURE DES TEMPS DE RÉACTION D'ÉQUILIBRATION

P. Brora considère deux modalités différentes au sens de l'équilibre :

- a) Le sens de verticale ;
- b) Le sens de l'accélération.

Le sens qui, dans la vie habituelle, nous renseigne sur la position de la verticale ne peut être utile au pilote. Il nous donne une notion de la position de la résultante des forces appliquées en chacun des points de notre corps. Cette résultante est proportionnelle à la masse. L'aviateur étant soumis, dans les virages et les déplacements de son appareil, à la force centrifuge, qui, très facilement arrive à dépasser le poids du corps, sera souvent dans l'impossibilité de connaître, par la sensation de force statique, la position

de la verticale vraie, et cela précisément au moment où il en aurait le plus besoin : la notion qu'il peut croire posséder peut même l'induire en erreur.

Le sens de l'accélération, au contraire, donne à l'aviateur des renseignements utilisables. Supposons, l'appareil étant en marche rectiligne, qu'une accélération se produise : le pilote, prévenu de ce qui vient de se passer, pourra agir immédiatement sur ses commandes et se redresser. Le résultat sera d'autant plus correct que la réponse aura été plus rapide. En d'autres termes : le danger sera d'autant moindre que le pilote aura perçu la déséquilibration plus près de son début.

La preuve la meilleure de la valeur de cette épreuve est le résultat que son application a donné sur l'avenir des candidats acceptés. Maublanc et Ratié, au Centre de Chartres, ont pu en choisir six cents, sans avoir à déplorer par la suite un accident de cause physiologique.

Il est indispensable que le fauteuil n'ait été déplacé qu'avec une extrême lenteur (par des ballons gonflés à l'oxygène, ou très doucement à la main). Si le pilote percevait, en effet, une sensation tactile quelconque, ce ne serait plus son seul appareil d'équilibration qui répondrait.

6° EPREUVE DE L'ÉQUILIBRATION RETARDÉE

Robert Foy et Reverchon attachent une grosse importance à cette épreuve. Quelle que soit la théorie admise sur le sens de l'équilibration, le temps mis par

le sujet à se rétablir en position de Romberg sensibilisé donnera l'amplitude de l'excitabilité à des forces mettant en jeu les organes mêmes qui seront influencés par les changements de position de l'avion. En la pratiquant, nous pourrons nous faire une idée très nette du degré de réflectivité des voies et des centres de l'équilibration.

Un individu sain sera déséquilibré vingt à trente secondes après trois tours sur lui-même.

Une perturbation plus courte est un phénomène favorable à l'aptitude à l'aviation, sous réserve, bien entendu, d'égalité après rotations en sens opposés. C'est d'ailleurs le résultat obtenu chez de nombreux as ou pilotes réputés chez qui, normalement, le sens de l'équilibre doit être endurci.

Afin de voir si l'entraînement à l'équilibration avait une influence sur la sensibilité labyrinthique, Moure, Pietri et Maupetit ont examiné en séries des acrobates, équilibristes, danseurs, etc. Ils ont trouvé une hypoexcitabilité uni ou bilatérale, plus ou moins marquée suivant le temps depuis lequel ces sujets pratiquaient leur profession. Les aviateurs ont donc le droit d'être hypoexcitables, sans que cette modification fonctionnelle soit l'indice d'un trouble de l'appareil vestibulaire. MM. Gallet et R. Foy pensent même que l'on est en droit d'exiger d'un pilote entraîné, de l'hypoexcitabilité et non pas une excitabilité normale.

Par contre, une durée de déséquilibre trop longue, doit nous inciter à une grande réserve sur l'aptitude du candidat examiné. Elle nous commanderait une plus grande prudence encore, si nous la trouvions lors d'un examen périodique chez un pilote entraîné car, normalement, cette hyperéaction aurait dû chez lui, s'atténuer par l'accoutumance et devenir une hyporéaction.

Voici un aviateur auquel nous avons reconnu jusqu'ici à tous les examens, un bon sens de l'équilibre ; ses antécédents aéronautiques sont des plus satisfaisants. Aujourd'hui, il se présente à nous en état d'intégrité apparente et, bien que ne sortant pas d'une période de surmenage aérien, répond cette fois-ci à nos épreuves à la déséquilibre par des réactions violentes. Que devons-nous penser de cette hyperexcitabilité soudaine ?

Reverchon a trouvé dans des cas analogues, une forte proportion de syphilitiques secondaires. L'état de méningisme fruste qui coïncide avec ce stade de la spécificité explique bien cette hyperexcitabilité corticale retentissant sur l'équilibration (1).

D'autre fois, elle sera due à des acrobaties aériennes récentes, au surmenage, etc...

Elle peut enfin être symptomatique d'une évolution anormale et dangereuse du sens de l'équilibre.

(1) Reverchon rapporte au congrès de la Navigation aérienne de 1921, l'observation d'un adjudant pilote ayant fait preuve pendant toute la guerre d'une très bonne équilibration. En traitement pour syphilis secondaire il fait une première chute et « casse du bois », quelques après, il se tue dans un accident ne pouvant être imputé à l'avion.

Cette épreuve nous permet de juger également l'amplitude de la déséquilibration pendant les quelques secondes où elle se manifeste. C'est un facteur dont la considération est importante. Il est à désirer que le pilote ne réagisse pas trop brusquement, mais avec sûreté et précision, desiratum impossible à obtenir chez l'hyperexcité. C'est, selon l'expression de Portmann, le « signal d'alarme » qui nous fera conseiller au pilote, du repos et de la modération.

CHAPITRE V

Schémas d'examens de l'oreille et de l'équilibration.

A) EXPERTISE INITIALE D'APTITUDE

1° Examiner l'oreille externe (forme, cicatrices, malformations);

2° Au spéculum, examiner le tympan :

- a) Couleur : la rougeur le long du manche du marteau et à la membrane de Schrapnell indique un catarrhe tubo-tympanique ;
- b) Dépression : voir s'il y a rétraction du manche du marteau en haut en en arrière ;
- c) Perforation.

3° Faire exécuter au sujet l'épreuve de Valsalva sous le contrôle du spéculum. Nous pourrons nous rendre compte du degré de mobilité du tympan et avoir déjà une impression sur la perméabilité tubaire. Pour compléter notre opinion à ce dernier point de vue nous devons :

4° Examiner le *rhino-pharynx* et la cavité buccale en recherchant toute lésion susceptible de retentir sur le courant aérien oro-rhino-tubaire ;

5° Chercher le *seuil auditif* avec l'inducteur acoumétrique ;

La séance n'a, jusqu'à présent, guère duré plus de deux minutes. Elle nous a cependant permis d'éliminer déjà :

les sujets dont l'acuité auditive est insuffisante ;

les otites moyennes chroniques ;

les otites moyennes aiguës (1) ;

les tympans perforés,
immobiles,
rétractés,
adhésifs ;

les trompes imperméables (2)

Elle nous aura, d'autre part, fait éviter l'erreur grossière du bouchon de cérumen provoquant des troubles mis sur le compte d'une lésion vestibulaire éliminatoire.

6° Rechercher la *déséquilibration spontanée* par :

Le Romberg ;

Le Romberg sensibilisé ;

La station sur un pied ;

La marche aveugle, aller et retour.

Sera éliminé tout sujet montrant de la latéropulsion aux trois premières épreuves ou déviant nettement à la dernière.

7° Le candidat n'ayant pas, jusqu'ici, été déséquilibré, nous pourrons pratiquer immédiatement *l'épreuve de l'équilibration retardée* : tout individu ne retrouvant pas, après trois gyrations, son équilibre

(1) Les sujets présentant une otite moyenne aiguë pourront être acceptés après guérison et nouvel examen.

(2) Les candidats dont le fonctionnement tubaire est gêné par la présence de grosses amygdales, de végétations, etc... ne seront qu'ajournés ; après traitement chirurgical ils pourront revenir subir l'examen d'aptitude.

en trente secondes, sera considéré comme hyperexcitable et éliminé. Celui qui présenterait une inégalité réactionnelle nette entre les voies vestibulo-cérébelleuses droite et gauche, serait également refusé.

Les normaux et les hypoexcitables seront déclarés aptes au pilotage. Toutefois il sera bon, pour eux, de contrôler et de compléter nos renseignements par la *mesure des temps de réaction à la déséquilibration*. Ceux-ci devront :

- a) Etre inférieurs à vingt centièmes de seconde pour le sens horizontal et à douze centièmes pour le sens vagittal ;
- b) Ne pas différer, à plusieurs recherches successives, de plus de cinq centièmes de seconde.

8° Si le résultat des épreuves n'était pas encore net, nous provoquerions le nystagmus, par *rotation au fauteuil*. Une durée très anormale du phénomène (moyenne : 30 secondes après 10 tours), achèverait de nous décider à l'inaptitude.

Ces épreuves nous paraissent nécessaires et suffisantes pour nous dicter une décision autorisée sur l'aptitude du candidat. Elle ne sont pas douloureuses et la séance peut être effectuée, sans hâte, en dix minutes. Ce temps pourrait d'ailleurs être abaissé en s'imposant une méthode toujours identique, en disposant judicieusement les appareils, en évitant le plus possible les gestes, paroles et déplacements du sujet, etc...

B) EXAMENS PÉRIODIQUES ET OCCASIONNELS

DE CONTROLE D'APTITUDE

Le pilote se présentera, porteur de son carnet médical individuel. Son aptitude ayant été reconnue antérieurement nous n'aurons guère à chercher que les modifications survenues depuis le dernier examen.

1° *Vérifier le maintien de l'acuité auditive par l'inducteur acoumétrique ;*

2° *Chercher au spéculum les signes de sclérose et d'immobilité du tympan ;*

3° *Contrôler la perméabilité tubaire ;*

4° *Qu'est devenu le sens de l'équilibration ?*

A l'épreuve de l'équilibration retardée, nous devons, normalement, trouver un chiffre inférieur ou tout au plus égal à celui du dernier examen. S'il en est ainsi, le pilote sera autorisé à continuer son service (à condition toutefois qu'il ait satisfait aux épreuves et examens précédents).

A-t-il, au contraire, tendance à devenir hyperexcitable, nous pourrons, suivant le degré constaté, ou lui accorder du repos (radiation temporaire) ou seulement lui interdire les acrobaties, voyages pénibles, etc...

Les renseignements fournis par l'examen des autres organes (hypotension, défaillance cardiaque, atteinte rénale...) pourront venir modifier notre décision.

Presque uniquement prophylactique, lors de l'examen initial d'aptitude, notre rôle devra ici être égale-

ment thérapeutique. Un pilote actuellement inapte peut être rendu rapidement à l'exercice de sa profession si nous l'envoyons, par exemple, au spécialiste pour ablation d'amygdales hypertrophiées, si nous lui ordonnons un repos absolu en cas de surmenage, etc...

*
* *

Le choix judicieux des épreuves à faire subir aux candidats avant de les déclarer aptes au pilotage, le contrôle périodique d'aptitude imposé aux aviateurs tous les 6 mois et après chaque maladie ou accident graves permettent de réduire sensiblement le nombre des chutes d'avion. Les statistiques que nous avons données le montrent nettement.

Pour le bon fonctionnement des lignes commerciales aériennes et pour le recrutement du personnel navigant de l'Aéronautique militaire, il est indispensable que ce mode de transport ait gagné entièrement la confiance du public. Or celle-ci ne lui sera accordée que lorsqu'elle présentera les deux conditions essentielles suivantes : économie et sécurité.

Le premier est fonction de la bonne organisation des Lignes et de la valeur commerciale des avions en service : elle est uniquement du ressort des techniciens et des constructeurs.

La seconde est presque exclusivement du domaine médical. Sans doute est-il désirable de voir employer un appareil stable capable d'atterrir lentement en un

espace restreint ; mais il est démontré qu'un bon pilote sur un mauvais avion est infiniment moins dangereux qu'un aviateur physiologiquement inapte, conduisant un bon appareil.

Selon l'expression de Beyne : avant de « semer de la graine d'as », essayons au moins de la trier.

Il est avéré qu'un certain nombre de pilotes excellents ayant depuis longtemps fait leurs preuves dans des situations souvent délicates, ne satisferaient pas précisément aux épreuves actuellement exigées de tout candidat aviateur :

Voire, dit Panurge, mais de ce que Frère Jean a sauté hier du grenier en la cour sans se rompre le col, s'ensuit-il qu'il faille supprimer l'escalier de ma maison ?

CONCLUSIONS

I. — Le vol en avion détermine chez l'aviateur :

a) A partir d'une altitude variant de 1.500 à 2.500 mètres : le syndrome passager du « mal des aviateurs » ;

b) Dans la descente rapide, en air agité et en vol acrobatique : des troubles fugaces dangereux si le pilote a de l'imperméabilité tubaire ou des réactions anormales à la déséquilibration ;

c) En vol de nuit, à la traversée de nuages épais, dans la brume : une disparition de renseignements visuels ne pouvant être compensée que par un appareil d'équilibration à fonctionnement parfait ;

d) A la longue : une tendance à la sclérose, une hypotension, une intoxication d'origine rénale rendant le pilote dangereux.

II. — Après avoir été déclaré apte au pilotage à la suite d'un examen médical rigoureux, aucun pilote ne devrait être autorisé à continuer son service s'il n'a fait contrôler son aptitude :

a) Tous les six mois ;

b) Après chaque maladie ou accident graves.

III. — L'examen de l'oreille et de l'équilibration devra :

- 1° Chercher le seuil auditif ;
- 2° Vérifier la perméabilité tubaire ;
- 3° S'assurer de la valeur du sens de l'équilibration :
 - a) Par le dépistage de la déséquilibration spontanée ;
 - b) Par la recherche de l'excitabilité à l'épreuve de l'équilibration retardée ;
 - c) Par la mesure des temps de réaction aux variations d'équilibre.

IV. — Tout pilote tendant à présenter de l'hyper-excitabilité à la déséquilibration sera mis au repos ou éloigné définitivement de l'aviation.

V. — Un pilote faisant un service régulier ne doit pas voler plus de 50 heures par mois et doit bénéficier d'un repos de 15 jours tous les six mois.

VI. — Tous acrobatie inutile devrait être défendue.

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE
LANNOIS.

Vu :

LE DOYEN,
Jean LÉPINE.

Vu et permis d'imprimer :
LYON, le 9 Novembre 1922.

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
J. CAVALIER.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON. — The Medical aspects of aeroplane accidents. *The British Medical Journal*, 19 janvier 1918.
- BEHAGUE P. — Moyens actuels d'apprécier les qualités physiologiques requises pour la conduite des avions. *Monde Médical*, n° 564, 1919.
- BEHAGUE P. et Mathieu DE FOSSEY. — Méthodes d'examen et conditions d'aptitude à l'aviation. *Journal de Médecine de Paris*, 12-20 juin 1920.
- Influence du vol sur l'organisme. *Gazette des Hôpitaux*, n° 28, 20 mars 1920.
- BERNARD A. — Les problèmes médicaux de l'aviation. *Progrès Médical*, 11 mai 1918.
- BERT Paul. — Influence des altitudes sur la respiration. *Académie des Sciences*, 1882.
- Le mal des montagnes. *Revue Scientifique*, 1886.
- BEYNE. — L'aptitude physique à l'aviation. *Revue de l'Aéronautique militaire*, janvier 1922.
- BILANCIONI G. et ROMANIA MANOIA. — Ricerche sullo stato della corcenza nella vertigine rotatoria. *Giornale di Medicina militare*, p. 175.
- BINET LÉON. — L'influence du vol sur l'organisme. *Presse Médicale*, 4 octobre 1919.
- BONNIER P. — Le vertige, 1893.
- BORRIES G.-V.-Th. — Quelques remarques sur le nystagmus calorique, Copenhague, 1920.

BRABANT. — Nouvelles recherches sur le nystagmus et le sens de l'équilibre, 1921, Bruxelles, librairie Albert Dewit.

Rapports à la Commission médicale du Congrès International de la navigation aérienne, 18 novembre 1921, p. 427, Etude sur le nystagmus; p. 428, Précautions à apporter au code des aptitudes exigibles des pilotes d'aéronefs.

BROCA P. — Mesure des temps de réaction d'équilibration. *Bulletin de la Direction des Inventions*, nov. 1919.

BUYS. — Rapport sur les épreuves interrogeant l'appareil semi-circulaire. *Annales des maladies de l'oreille, du larynx, du nez et du pharynx*, sept. 1922.

CASTEX. — Troubles auriculaires chez les aviateurs militaires. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 28 juin 1918.

— L'oreille chez les aviateurs. *Archives de Médecine et de Pharmacie militaires*, juillet 1918.

CHEVAL. — Physiologie de la VIII^e paire. *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 1919.

CRUCHET. — Rapport au Congrès International de la navigation aérienne, 18 nov. 1921, p. 389 : Le mal des aviateurs.

CRUCHET et MOULINIER. — Le mal des aviateurs. *Journal de Physiologie et de Pathologie générale*, mai 1911.

FERRY G. — Le syndrome « Mal des Aviateurs ». Aptitude à l'aviation. *Thèse de Nancy*, 1919.

— Le syndrome « Mal des Aviateurs » et ses conséquences éloignées. *Archives de Médecine et de Pharmacie militaires*, juillet 1918.

FLACK M. — Physiologic effects of Flying. *British Medical Journal*, 11 mai 1918.

FOY Robert. — De l'examen des voies vestibulo-cérébelleuses chez les aviateurs. *Bulletin de la Société de Biologie*, 21 juin 1919.

— Communication au Congrès International de la navigation aérienne, 1921, p. 217.

FRIEDENBERG. — Facteurs de l'équilibration. Mention spéciale pour l'aviation. *The Journal of American Medical Association*, 6 avril 1918.

GARSAUX. — Influence de la dépression atmosphérique sur la tension artérielle. *Bulletin de la Société de Biologie*, 14 juin 1919.

— Communication au Congrès international de la navigation aérienne, 18 nov. 1921, p. 230 : Sur le repos à accorder aux pilotes des transports publics.

GRADENIGO G. — Funzione tubaria ed Aviazione. *Giornale di Medicina militare*, p. 136.

— Sulla funzione del labirinto. *Archivio italiano di otologia*, vol. XXIX, fasc. 2, 1918.

GRASSET. — Les maladies de l'orientation et de l'équilibre, 1901.

GUILLAIN G. — Les examens médicaux et physiologiques du personnel navigant de l'aviation. *Bulletin de la Société de Biologie*, 14 juin 1919.

JACQUES. — L'oreille chez les aviateurs. *C. R. Société Méd. de Nancy*, 10 nov. 1915.

JOSUÉ. — Le cœur des aviateurs. *Arch. de Méd. et de Pharm. militaires*, mai 1918, p. 609.

MARTIN-SISTERON. — Considérations sur les effets et les causes de la fatigue en général et de l'usure organique chez les aviateurs du front. *Paris Méd.*, juillet 1919.

MAUBLANC et RATIÉ. — L'examen médical des pilotes par la méthode des réactions aux variations d'équilibre. *Bulletin de la Société de Biologie*, 14 juin 1919.

MICHEL. — Le débit respiratoire dans les ascensions en avion et en montagne. *Thèse de Lyon*, déc. 1921.

PERRIN DE BRICHAMBAULT. — Critères de l'aptitude du vol en avion. *Thèse de Nancy*. 1921.

— Rapport au Congrès international de la navigation aérienne, 1921, p. 446 : Le facteur émotivité chez le pilote aviateur.

PIÉRY et PAILLIER. — Urée sanguine et ascensions en avion.
Lyon Méd., 25 juillet 1922.

PORTMANN G. — Interprétation des épreuves labyrinthiques chez les aviateurs. *Revue de laryngologie, d'otologie et de rhinologie*, 28 février 1922, p. 140-145.

— Rapport au Congrès international de la navigation aérienne, 1921, p. 413.

PRÉVOST G. — Modifications de l'organisme déterminées par l'aviation. *Thèse de Paris*, 1919.

RENARD (L.-Col.). — Remarques sur la sélection des aviateurs. *Bulletin de la Société de Biologie*, 21 juin 1919.

REVERCHON. — Communications au Congrès international de la navigation aérienne, 1921, p. 216 et p. 244 : Méthodes d'examen de l'oreille.

ROBERTSON Ch. — Barany tests in examination of aviators. *The Journal of American Med. Assoc.*, avril 1918, p. 1096.

— Un tableau du problème médical de l'aviation. *Société de laryngologie et d'otologie de Chicago*, 4 avril 1921.

ROUCH. — Ecole d'aviation et médecine militaire. Caducée, 1911, p. 289.

SOUBIES. — Physiologie de l'aéronaute. *Thèse de Paris*, 1907.

TARA S. — Mesures de pression artérielle effectuées en avion à différentes altitudes et au cours d'un apprentissage. *Bulletin de la Société de Biologie*, 21 juin 1919.

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	9
Chapitre premier. — Troubles ressentis par les aviateurs.	
§ 1. — Malaises produits par la montée calme : Mal des aviateurs.....	15
§ 2. — Malaises et troubles à la descente, en air agité ou en vol acrobatique.....	22
§ 3. — Etiologie et pathogénie.....	25
Chapitre II. — Nécessité d'un examen otologique...	31
Chapitre III. — Epreuves employées pour l'examen otologique	42
Chapitre IV. — Interprétation et discussion des épreuves	52
Chapitre V. — Schémas d'examen de l'oreille et de l'équilibration	67
Conclusions	73
Bibliographie.....	75
